

SINTESIS KOMPOSIT POLIMER KONDUKTIF POLIPIROL (PPy)/SELULOSA BAKTERI DENGAN METODE SPRAY DAN RENDAM

Bayu Santoso Widodo^{*1}, Harlia¹, Intan Syahbanu¹

¹Program Studi Kimia, Fakultas MIPA Universitas Tanjungpura,
Jl. Prof. Dr. H. Hadari Nawawi 78124, Pontianak

*email: bayusantoso08@gmail.com

ABSTRAK

Sintesis komposit polimer konduktif PPy/selulosa bakteri telah berhasil dilakukan dengan metode spray dan metode rendam. Sintesis dilakukan dengan menggunakan pirol 0,5 M, inisiator $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0,5 M serta dopan HCl 0,6 M. Komposit PPy/selulosa bakteri dikarakterisasi dengan instrumen Scanning Electron Microscope (SEM), four point probe dan Fourier Transform Infra Red (FTIR). Komposit PPy/selulosa bakteri hasil sintesis dengan metode spray menunjukkan morfologi yang berpori. Konduktivitas hasil sintesis PPy/selulosa bakteri dengan metode spray sebesar $0,52 \times 10^{-2} \text{ S.m}^{-1}$ dan konduktivitas hasil sintesis PPy/selulosa bakteri dengan metode rendam sebesar $7,87 \times 10^{-2} \text{ S.m}^{-1}$. Hasil FTIR komposit PPy/selulosa bakteri menunjukkan adanya serapan karakteristik polipirol yaitu 1539 cm^{-1} (C=C), 1424 cm^{-1} (C-N) untuk metode spray serta 1526 cm^{-1} (C=C), 1444 cm^{-1} (C-N) untuk metode rendam. Serapan karakteristik dari selulosa bakteri muncul pada 3337 cm^{-1} (O-H), 2918 cm^{-1} (C-H) dan 1039 cm^{-1} (C-O-C) untuk metode spray serta 3073 cm^{-1} (O-H), 2904 cm^{-1} (C-H) dan 1019 cm^{-1} (C-O-C) untuk metode rendam. Komposit PPy/selulosa bakteri yang disintesis tergolong bahan semikonduktor.

Kata Kunci : komposit, metode rendam, metode spray, PPy/selulosa bakteri

PENDAHULUAN

Polimer konduktif merupakan material organik yang biasa dikembangkan sebagai perangkat penyimpanan energi. Material organik lebih dipilih karena sifatnya yang mudah diurai secara alami dibandingkan dengan perangkat penyimpanan energi berbasis material anorganik seperti Ni, Ni-Cd dan Li-ion (William *et al.*, 2014). Polimer yang biasa dikembangkan yaitu polipirol, polianilin dan poliasetilen (Adriani *et al.*, 2013).

Polipirol merupakan polimer yang mudah disintesis dan memiliki konduktivitas yang relatif tinggi (Abus *et al.*, 2013). Polipirol dapat disintesis melalui dua cara yaitu oksidasi kimia dan elektrokimia. Sintesis melalui oksidasi kimia cocok digunakan untuk memproduksi polipirol untuk komersial dalam skala besar (Skotheim dan Reynolds, 2007).

Hasil akhir sintesis melalui oksidasi kimia umumnya dalam bentuk bubuk (Skotheim dan Reynolds, 2007). Hal ini menyebabkan polipirol sulit diproses (rapuh)

setelah sintesis (Nystrom, 2012). Oleh karena itu polipirol yang disintesis dengan oksidasi kimia perlu dikompositkan dengan material lain seperti selulosa bakteri. Sintesis polimer konduktif biasa dilakukan dengan cara *in situ* melalui teknik perendaman (Wang *et al.*, 2013).

Selulosa bakteri yang dihasilkan oleh *Acetobacter xylium* memiliki struktur lembaran hidrogel yang memiliki luas permukaan dan porositas yang tinggi (Esa *et al.*, 2014). Selulosa bakteri bersifat hidrofilik dan *biodegradable* karena memiliki gugus hidroksil yang berlimpah (Klemm *et al.*, 2005). Komposit selulosa bakteri dengan polipirol (PPy) menunjukkan konduktivitas yang sangat baik yaitu 77 S.cm^{-1} dan luas permukaan yang tinggi yaitu sebesar $\sim 56,12 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ (Wang *et al.*, 2013).

Komposit polimer konduktif (AgNW)-PEDOT:PSS dilaporkan dapat disintesis dengan metode *two-step-spray-coating*. Metode ini dapat dilakukan pada suhu kamar sehingga lebih mudah dilakukan dibandingkan metode yang biasa digunakan

yaitu dengan menggunakan teknik *spin-coating*. Teknik ini memerlukan proses pemanasan pada suhu tinggi (Choi *et al.*, 2012). Sintesis polimer konduktif polipirol pada serat selulosa bakteri dengan teknik *spray* belum pernah dilakukan. Teknik ini diduga mampu meningkatkan luas permukaan komposit polimer. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan sintesis polimer konduktif polipirol pada serat selulosa bakteri dengan teknik *spray*. Selain itu dilakukan juga sintesis dengan teknik rendam untuk melihat perbedaan karakteristik komposit polimer.

METODOLOGI PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan diantaranya yaitu alat-alat gelas kimia, desikator, wadah plastik, botol semprot, neraca analitik, oven, spatula, *four point probe*, *Scanning Electron Microscope* (SEM) JEOL JSM-6510LA dan *Fourier Transmittance Infrared* (FTIR) Nicolet Avatar 360 IR.

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini antara lain akuades, besi (III) klorida (FeCl_3), sukrosa, *Acetobacter xylinum*, amonium sulfat, kloroform (CHCl_3), asam asetat glasial, NaOH, HCl dan pirol.

Prosedur Penelitian

Preparasi film selulosa bakteri air kelapa

Air kelapa sebanyak 5 L direbus dan ditambahkan 30 mL asam asetat glasial, 500 g sukrosa dan 25 g amonium sulfat. Setelah didinginkan, *Acetobacter xylinum* sekitar 10% dari ukuran media disuntikkan lalu didiamkan dalam kondisi suhu ruangan (27°C) selama 6 hari untuk membentuk film selulosa bakteri setebal sekitar 0,5 cm. Hasil fermentasi dicuci dengan akuades selama 24 jam, larutan 1% (w/w) NaOH selama 24 jam, 1% CH_3COOH selama 24 jam lalu dicuci dengan air (Radiman dan Yuliani, 2008).

Preparasi film selulosa bakteri dengan inisiator FeCl_3

Preparasi film selulosa bakteri merujuk pada penelitian dari Maneerung *et al.*, (2007) dan penelitian Garg *et al.*, (2014) dengan modifikasi. Film selulosa bakteri dipres dengan plat kaca lalu dipotong dengan ukuran 1,5 cm x 1 cm. Setelah itu film selulosa bakteri ditimbang beratnya dan

dilakukan proses *swelling* dalam 75 mL akuades dengan variasi waktu 1 jam, 2 jam, 3 jam dan 4 jam. Film selulosa bakteri kemudian ditimbang kembali untuk menentukan derajat *swelling*. Derajat *swelling* dihitung dengan persamaan.

$$SR = \frac{W_{1,t} - W_0}{W_0} \times 100\% \dots \dots \text{Persamaan (1)}$$

SR merupakan derajat *swelling*, W_0 merupakan berat film selulosa bakteri sebelum dilakukan proses *swelling* dan $W_{1,t}$ merupakan berat film selulosa bakteri setelah dilakukan proses *swelling*.

Larutan besi klorida 25 mL disiapkan dalam gelas beker 50 mL dengan konsentrasi 0,5 M dengan pelarut air terdestilasi. Film selulosa bakteri kemudian dimasukkan ke dalam gelas beker yang berisi larutan FeCl_3 . Film direndam selama waktu terpilih yaitu variasi waktu yang memiliki derajat *swelling* tertinggi. Film selulosa bakteri kemudian direndam dalam larutan HCl 0,6 M selama 10 menit. Setelah itu film selulosa bakteri dikeluarkan dari larutan dan dilanjutkan sintesis polipirol pada serat selulosa bakteri.

Sintesis dengan metode rendam

Campuran pirol dan kloroform dengan konsentrasi pirol 0,5 M sebanyak 25 mL disiapkan dalam gelas beker 100 mL. Setelah itu film selulosa bakteri yang sudah mengandung besi klorida dicelupkan dalam larutan pirol. Proses ini dibiarkan hingga terjadi perubahan warna menjadi gelap pada permukaan film selama 10 menit. Hal ini menandai terjadinya polimerisasi pirol membentuk polipirol. Setelah proses polimerisasi selesai, film kemudian dicuci dengan menggunakan air. Setelah itu film dikeringkan di udara selama satu jam, lalu dioven selama 24 jam pada suhu 40°C dan disimpan dalam desikator selama 24 jam. Hasil sintesis komposit PPy/selulosa bakteri dikarakterisasi dengan menggunakan FTIR, konduktivitasnya diukur dengan metode *four point probe* dan morfologi PPy/selulosa bakteri dilihat dengan SEM.

Sintesis dengan metode *spray*

Campuran pirol dan kloroform dengan konsentrasi pirol 0,5 M sebanyak 25 mL disiapkan dalam wadah penyemprot. Setelah itu larutan pirol disemprotkan pada

film selulosa bakteri. Film selulosa bakteri kemudian dibiarkan selama 10 menit hingga permukaan film menjadi hitam. Setelah proses polimerisasi selesai kemudian film dicuci dengan menggunakan air, lalu dikeringkan di udara selama satu jam, kemudian disimpan dalam oven selama 24 jam pada suhu 40°C, dan disimpan dalam desikator selama 24 jam. Film PPy/selulosa bakteri pada metode *spray* dikarakterisasi dengan FTIR, konduktivitasnya diukur dengan metode *four point probe* dan morfologi PPy/selulosa bakteri dilihat dengan SEM.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan Film Selulosa Bakteri

Penelitian ini menggunakan media dari larutan sukrosa, amonium sulfat, asam asetat glasial dan air kelapa. Sukrosa diperlukan oleh *Acetobacter xylinum* sebagai sumber karbon (Halib *et al.*, 2012). Amonium sulfat diperlukan oleh bakteri sebagai sumber nitrogen. Nitrogen ini diperlukan dalam pembentukan asam nukleat dan protein. Penambahan asam asetat dilakukan untuk menciptakan suasana asam dalam media. Hal ini diperlukan agar pH media menjadi optimal. Walaupun *Acetobacter xylinum* dapat tumbuh pada kisaran pH 3,5-7,5 tetapi bakteri *Acetobacter xylinum* sangat cocok tumbuh pada suasana asam (pH 4,3) (Castro, *et al.*, 2011).

Hasil fermentasi Film selulosa bakteri memiliki ketebalan berkisar pada 0,5 cm. Ketebalan ini di capai dengan memfermentasi 250 mL air kelapa dalam wadah nampian dengan ukuran 15 cm x 20 cm. Ukuran wadah dan volume air kelapa menentukan ukuran ketebalan film selulosa bakteri yang dihasilkan. Film selulosa bakteri yang dihasilkan berwarna putih dengan tekstur yang lembut pada permukaannya.

Derajat Swelling Film Selulosa Bakteri

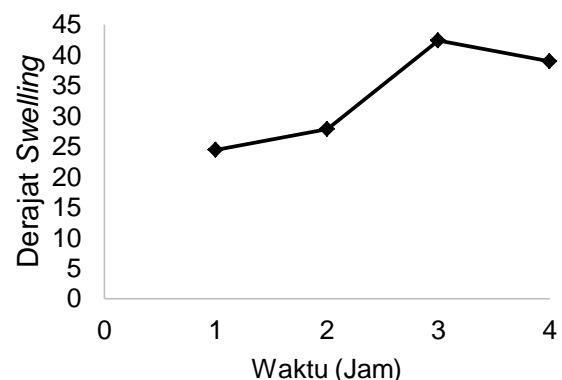
Pengukuran derajat *swelling* diperlukan untuk menentukan lamanya waktu perendaman yang paling baik bagi film selulosa bakteri dalam menyerap air. Waktu dengan derajat *swelling* tertinggi dipilih sebagai waktu perendaman film selulosa bakteri ke dalam larutan inisiator. Pemilihan waktu ini dilakukan agar larutan inisiator

yang digunakan dapat diserap secara maksimal oleh film saat perendaman. Film selulosa bakteri akan direndam dalam larutan inisiator sebelum dikontakkan dengan larutan monomer.

Derajat *swelling* dihitung dengan mengukur persentase dari peningkatan massa film selulosa bakteri sebelum dan sesudah *swelling*, dibagi dengan massa sebelum *swelling*. Proses *swelling* dilakukan melalui perendaman film selulosa bakteri ke dalam air. Waktu perendaman yang digunakan yaitu selama 1 jam, 2 jam, 3 jam dan 4 jam. Gambar 1 merupakan grafik hasil perhitungan derajat *swelling* terhadap waktu.

Selulosa bakteri dapat menyerap air karena memiliki struktur pori yang berupa lapisan multilayer tipis yang saling terhubung secara melintang pada seratnya. Selulosa bakteri juga memiliki gugus hidroksil yang berlimpah (Nge *et al.*, 2010). Morfologi yang unik ini menyebabkan selulosa bakteri memiliki permukaan yang luas dan dapat menampung air dalam jumlah besar yaitu hingga 200 kali dari berat keringnya (Czaja *et al.*, 2006). Selain itu secara bersamaan selulosa bakteri menunjukkan elastisitas serta kekuatan yang baik dalam kondisi basah serta bersifat hidrofilik sehingga mudah mengikat molekul air melalui ikatan hidrogen (Klemm *et al.*, 2001).

Derajat *swelling* tertinggi pada penelitian ini terjadi pada saat waktu yang digunakan selama 3 jam. Jika dilihat dari gambar 1 derajat *swelling* menjadi menurun ketika waktu yang digunakan melebihi 3 jam. Oleh karena itu proses pereaksian antara monomer pirol dengan inisiator FeCl₃ harus dilakukan segera setelah proses *swelling* selesai dilakukan.



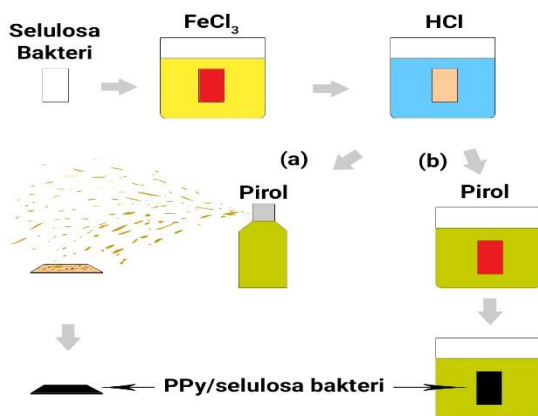
Gambar 1. Derajat *swelling* film selulosa bakteri

Sintesis Polimer Konduktif Polipirol pada Serat Selulosa Bakteri

Berdasarkan laporan dari Wang *et al.*, (2013) parameter temperatur memiliki peran yang krusial terhadap morfologi dari komposit PPy/selulosa bakteri. Hal ini karena temperatur yang tinggi akan mempercepat reaksi polimerisasi yang berdampak pada semakin padatnya polipirol mengisi serat selulosa bakteri. Menurut penelitian tersebut morfologi komposit PPy/selulosa bakteri yang baik (luas permukaan tinggi) berhasil disintesis pada saat suhu dioptimasi pada 0°C dari rentang suhu yang digunakan 0-25°C.

Metode *spray* pada penelitian ini diharapkan dapat memperbaiki morfologi komposit PPy/selulosa bakteri agar memiliki porositas yang lebih baik walaupun disintesis pada suhu ruangan. Oleh karena itu pada penelitian ini digunakan dua jenis metode sintesis. Metode yang dimaksud yaitu metode rendam dan metode *spray*. Ilustrasi metode ini dapat lebih jelas dilihat pada gambar 2 berikut.

Perbedaan metode yang digunakan terletak pada teknik mengkontakkan monomer pirol dengan inisiator FeCl₃. Teknik pada metode rendam, film selulosa bakteri yang sudah dipreparasi dengan inisiator FeCl₃ dan dopan selulosa bakteri dikontakkan secara langsung dengan larutan monomer pirol melalui perendaman. Berbeda dengan metode rendam, pada metode *spray* film yang sudah dipreparasi dikontakkan dengan monomer melalui penyemprotan. Ilustrasi metode yang digunakan dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Ilustrasi metode (a) *spray* dan metode (b) rendam.

Hasil sintesis komposit PPy/selulosa bakteri dengan metode rendam berwarna hitam yang merupakan warna dari polipirol. Polipirol masuk ke dalam serat selulosa bakteri membentuk komposit PPy/selulosa bakteri. Adanya interaksi seperti adanya ikatan hidrogen pada atom N di polipirol dan gugus OH di selulosa bakteri menyebabkan polipirol tidak mudah terlepas dari serat selulosa bakteri (Wang *et al.*, 2013).

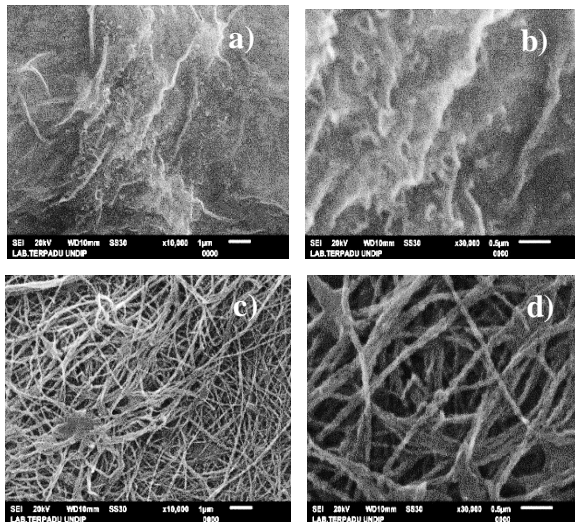
Hasil sintesis dengan metode *spray* memiliki permukaan film yang lebih halus jika dibandingkan dengan hasil sintesis dengan menggunakan metode rendam. Hal ini diduga karena pada metode rendam polipirol yang terbentuk ada yang tidak terikat dengan serat selulosa bakteri. Oleh karena itu menimbulkan adanya serbuk polipirol di permukaan film.

Metode *spray* memungkinkan monomer pirol yang terserap dalam film selulosa bakteri lebih sedikit dibandingkan dengan metode rendam. Hal ini karena monomer yang dikontakkan pada metode *spray* berupa gas sedangkan pada metode rendam berupa cairan. Sebagaimana diketahui masa jenis larutan akan berkurang saat suatu cairan di ubah ke dalam wujud gas.

Karakterisasi Komposit PPy/selulosa bakteri

Film PPy/selulosa bakteri hasil sintesis dengan metode rendam dan *spray* dikarakterisasi menggunakan SEM untuk melihat morfologi film. Jika dilihat dari mikrograf SEM pada gambar 3, permukaan film PPy/selulosa bakteri memiliki morfologi yang berbeda.

PPy hasil sintesis pada metode rendam terlihat menyelimuti keseluruhan dari serat selulosa bakteri. PPy juga terlihat mengisi rongga-rongga antar serat pada selulosa bakteri. Hal ini berbeda dengan morfologi film PPy/selulosa bakteri hasil sintesis dengan metode *spray*. Perbedaan ini diduga terjadi karena monomer pirol yang terserap diantara serat pada metode *spray* akan lebih sedikit jika dibandingkan dengan menggunakan metode rendam. Oleh karena itu morfologi komposit PPy/selulosa bakteri yang dihasilkan memiliki pori. Morfologi yang berpori seperti ini akan meningkatkan luas permukaan komposit polimer konduktif PPy/selulosa bakteri.



Gambar 3. Mikrograf SEM PPy/selulosa bakteri hasil sintesis metode rendam (a dan b) dan mikrograf hasil sintesis metode *spray* (c dan d).

Morfologi komposit metode *spray* lebih baik dari metode rendam jika ditinjau dari porositasnya. Namun demikian berdasarkan uji *four point probe*, konduktivitas komposit PPy/selulosa bakteri dengan metode rendam memiliki konduktivitas yang lebih kecil. Konduktivitas komposit PPy/selulosa bakteri selengkapnya ditunjukkan oleh Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Konduktivitas Film PPy/Selulosa Bakteri

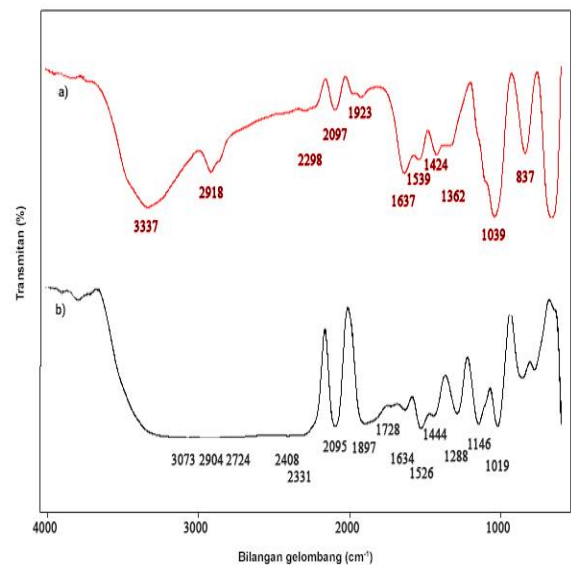
Metode	Konduktivitas (S.m ⁻¹)
Rendam	7,87 x 10 ⁻²
<i>Spray</i>	0,52 x 10 ⁻²

Kepadatan polipirol dalam serat selulosa bakteri pada metode rendam lebih tinggi jika dibandingkan dengan metode *spray*. Hal ini yang diduga menyebabkan konduktivitas hasil sintesis dengan metode rendam menjadi lebih tinggi. Meningkatnya massa polipirol persatuan luas maka elektron juga akan menjadi lebih mudah untuk mengalir. Sehingga hambatan elektron menjadi semakin rendah dan konduktivitasnya menjadi semakin tinggi. Berdasarkan konduktivitas yang dihasilkan, komposit pada penelitian ini tergolong bahan semikonduktor. Bahan semikonduktor merupakan bahan yang memiliki konduktivitas pada rentang 10⁻⁶ sampai 10² S.m⁻¹ (Heeger *et al.*, 2000).

Struktur komposit PPy/selulosa bakteri dikonfirmasi dengan melakukan karakterisasi dengan FTIR. Gugus fungsi yang terdapat pada komposit akan teridentifikasi dengan melihat puncak pada spektrum FTIR. Spektrum FTIR ditunjukkan pada gambar 4.

Adanya kemiripan serapan gugus fungsi polipirol pada komposit PPy/selulosa bakteri menunjukkan bahwa sintesis PPy/selulosa bakteri berhasil dilakukan. Hal ini dapat dilihat dengan adanya vibrasi ulur untuk ikatan C=C yang merupakan ciri dari polipirol. Ikatan seperti ini tidak terdapat pada struktur dari selulosa bakteri. Selain itu penelitian dari Chitte *et al.*, (2011) juga menyebutkan bahwa serapan pada bilangan gelombang 1540 cm⁻¹ (vibrasi ulur C=C) dan 1467 cm⁻¹ (vibrasi ulur C-N) merupakan ciri vibrasi dari cincin polipirol. Serapan pada bilangan gelombang ini mirip dengan serapan pada komposit PPy/selulosa bakteri yaitu 1526 cm⁻¹ dan 1444 cm⁻¹ pada metode rendam serta 1539 cm⁻¹ dan 1424 cm⁻¹ pada metode *spray*.

Serapan gugus fungsi untuk selulosa bakteri juga masih tampak pada komposit PPy/selulosa bakteri. Serapan tersebut seperti pada bilangan gelombang 1019 cm⁻¹ dan 1039 cm⁻¹ yang merupakan serapan dari vibrasi ulur C-O-C. Serta lain yaitu serapan pada bilangan gelombang 1634 cm⁻¹ dan 1637 cm⁻¹ yang merupakan serapan dari gugus fungsi karbonil.



Gambar 4. Spektrum FTIR komposit PPy/selulosa bakteri metode *spray* (a) dan rendam (b).

Tabel 2. Interpretasi Puncak Spektrum FTIR PPy/selulosa bakteri

Bilangan gelombang (cm ⁻¹)				Jenis Vibrasi
Rendam	Spray	Selulosa Bakteri*	Polipirol (PPy)**	
-	3337	3400	3405	O-H (ulur) atau N-H (ulur)
3073	-	-	-	O-H (ulur)
2904	2918	2897	-	C-H (ulur)
2724	-	-	-	C-H (ulur)
1897	-	-	-	C-H (tekuk)
1634	1637	1647	-	C=O (ulur)
1526	1539	-	1536	C=C (ulur)
1444	1424	-	1462	C-N (ulur)
-	1362	-	-	O-H (tekuk)
1288	-	-	1296	C-H (tekuk)
1146	-	-	1169	C-N (ulur)
1019	1039	1063	-	C-O-C (ulur)

Ket: *Penelitian Wang *et al.*, (2013), **Penelitian Bahraein *et al.*, (2011).

SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa hasil uji menunjukkan bahwa komposit PPy/selulosa bakteri hasil sintesis dengan metode rendam memiliki konduktivitas yang lebih tinggi dari metode *spray*. Konduktivitas komposit PPy/selulosa bakteri tersebut yaitu $7,87 \times 10^{-2} \text{ S.m}^{-1}$ untuk metode rendam dan $0,52 \times 10^{-2} \text{ S.m}^{-1}$ untuk metode *spray*. Komposit PPy/selulosa bakteri pada penelitian dapat digolongkan sebagai bahan semikonduktor. Polimer konduktif PPy/selulosa bakteri yang disintesis melalui metode *spray* menunjukkan morfologi yang berongga yang tidak ditunjukkan oleh komposit yang disintesis dengan metode rendam.

DAFTAR PUSTAKA

- Abus, P.; Rudiyanasyah dan Sitorus, B., 2013. Sintesis Polimer Konduktif Komposit Polipirol-Selulosa dalam Larutan FeCl₃.6H₂O, *J. Kimia Katulistiwa.*, 2(2):95-100.
- Adriani, D. M.; Sitorus, B. dan Destiarti, L., 2013. Sintesis Material Konduktif Komposit Polianilin-Selulosa Dari Tanah Gambut. *J. Kimia Katulistiwa.*, 2(3):127-132.
- Bahraein, S; Abron, K; Pourjafarian F and Majid R. A., 2013, Study on Synthesis of Polypyrrole via Chemical Polymerization Method, *Advanced Materials Research.*, 795:707-710.

- Castro, C.; Zuluaga, R.; Álvarez, C.; Putaux, J.L.; Caro, G.; Rojas, O.J.; Mondragone, I and Ganán, P., 2012, Bacterial Cellulose Produced by a New Acid-resistant Strain of *Gluconacetobacter* Genus, *Carbohydrate Polymers.*, 30:2-5.
- Chitte, H.K.; Bhat, N.V.; Walunj, V.E. and Shinde G.N., 2011, Synthesis of Polypyrrole Using Ferric Chloride (FeCl₃) as Oxidant Together with Some Dopants for Use in Gas Sensors, *Journal of Sensor Technology.*, 1:47-56.
- Choi, D.Y, Kang, H.W, Sung, H.J and Kim, S.S., 2012, Annealing-free, Flexible Silver Nanowire-polymer Composite Electrodes via a Continuous Two-step spray-coating Method., *Nanoscale*, 20:1-8.
- Czaja, W.K.; Young, D.J.; Kawecki, M. and Brown, R.M., 2006, The Future Prospects of Microbial Cellulose in Biomedical Applications. *Biomacromolecule.*, 8:1-12.
- Esa, F.; Tasirin, S.M and Norliza Abd Rahman., 2014, Overview of Bacterial Cellulose Production and Application, *Agriculture and Agricultural Science Procedia.*, 2:113 – 119.
- Garg, R; Kumar, D. and Chakarvarti, S., 2014. Synthesis of Microwires of Polypyrrole via Chemical Polymerization using Track Etch Membrane as Template. *American*

- Journal of Materials Science and Technology*, 4(1):1-12.
- Halib, N.; Amin, M.C.I.M and Ahmad, I., 2012, Physicochemical Properties and Characterization of Nata de Coco from Local Food Industries as a Source of Cellulose, *Sains Malaysiana*, 41(2):205-211.
- Heeger, A.J.; MacDiarmid, A.G. and Shirakawa, H., 2000, The Nobel Prize in Chemistry, 2000: Conductive Polymer, Kungl. Vetenskapsakademien, Sweden.
- Klemm, D.; Schumann, D.; Udhardt, U. and Marsch, S., 2001. Bacterial Synthesized Cellulose-artificial Blood Vessels for Microsurgery. *Progress in Polymer Science*, 26(9):1561–1603.
- Maneerung, T.; Tokura, S. and Rujiravanit, R., 2007. Impregnation of silver nanoparticles into bacterial cellulose for antimicrobial wound dressing. *Carbohydrate Polymers*, 72(1):43–51.
- Nge, T. T.; Sugiyama, J., and Bulone, V. (2010). Bacterial cellulose-based biomimetic composites. In *Biopolymers*. InTech.
- Nystrom, G., 2012. Nanocellulose and Polypyrrole Composite for Electrical Energy Storage. In: *Digitas Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology*, 898.
- Radiman, C. dan Yuliani, G., 2008. Coconut water as a potential resource for cellulose acetate membrane preparation. *Polymer International* , 57:502–508.
- Skotheim, T. A. and Reynolds, J. R., 2007. Handbook of Conducting Polymers: Conjugated Polymers - Theory, Synthesis, Properties and Characterization. CRC Press, Boca Raton.
- Wang, H.; Bian, L.; Zhou; P.; Tang, J. and Tang, W., 2013, Core–Sheath Structured Bacterial Cellulose/Polypyrrole Nanocomposites with Excellent Conductivity as Supercapacitors, *J. Mater Chem. A*, 1:578-584.
- William, R.A.; Sitorus, B. dan Malino M.B., 2014, Sintesis Polianilina pada Matriks Selulosa sebagai Elektrolit Padat pada Model Baterai Sederhana. *J Kimia Khatulistiwa*, 3(4):32-38.